Journal of Agroecology
Vol. 13, No.3, Fall 2021, p. 471-488

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۴۸۸-۴۷۱

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی عملکرد و شاخص‌های کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceaum* L.) و کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت تأثیر تراکم و نسبت‌های کاشت در منطقه بیرجند

حمید وحیدی[1]، سهراب محمودی[2*]، سهیل پارسا[3] و حمیدرضا فلاحی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۲

وحیدی، ح.، محمودی، س.، پارسا س.، و فلاحی، ح.، ۱۴۰۰. ارزیابی عملکرد و شاخص‌های کشت مخلـوط ارزن (*Panicum miliaceaum* L.) و کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت تأثیر تراکم و نسبت‌های کاشت در منطقه بیرجند. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۳): ۴۸۸-۴۷۱.

چکیده

یکی از روش‌های ایجاد پایداری و حفظ سلامت تولید در بوم‌نظام‌های کشاورزی اجرای کشت مخلوط است. به این منظـور، پژوهشـی بـه‌صـورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار جهت ارزیابی عملکرد ارزن (*Pnicum miliaceaum* L.) و کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۱۳۹۷ انجام شد. آزمایش با دو عامل تراکم در سه سطح ۲۰ (۵۰ درصد بهینه)، ۴۰ (بهینه) و ۶۰ بوته در مترمربع (۱۵۰ درصد بهینه) برای هر دو گیاه و نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی سری جـایگزینی در پـنج سطح تک‌کشتی ارزن معمولی (۰- ۱۰۰ درصد)، سه ردیف ارزن و یک ردیف کینوا (۲۵ درصد- ۷۵ درصد)، یک در میان ارزن و کینوا (۵۰ درصد- ۵۰ درصد)، یک ردیف ارزن و سه ردیف کینوا (۷۵ درصد- ۲۵ درصد) و تک‌کشتی کینوا (۱۰۰ درصد- ۰) اجرا شد. نتایج نشان داد، تـراکم مطلـوب بـرای حصول حداکثر عملکرد دانه در تک‌کشتی ارزن معمولی (۴۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کینوا (۲۳۴۰ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب برابـر ۶۰ و ۴۰ بوتـه در مترمربع بود. ترکیب تیماری برتر کشت مخلوط با قابلیت توصیه به کشاورز، نسبت ۲۵ درصد ارزن و ۷۵ درصد کینوا در تراکم ۴۰ بوته در مترمربـع بـا بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۳۲) و افزایشی برابر ۲۶/۹۸ درصد در شاخص عملکرد واقعی کل مشخص گردید. همچنین بررسی اثر متقابـل در ایـن تیمار افزایش ۹/۲۶ درصدی عملکرد بیولوژیک کینوا (۶۹۳۵ کیلوگرم در هکتار) را بر اساس عملکرد پیش‌بینی شده نشان داد. با وجود غالبیـت و تـوان رقابتی بالاتر ارزن معمولی نتایج به‌دست آمده مؤید سودمندی کشت مخلوط این گیاه با کینوا در منطقه بیرجند است.

واژه‌های کلیدی: سری جایگزینی، شاخص نسبت رقابت، گیاه زراعی جدید، نسبت برابری زمین

مقدمه

یکـی از روش‌هـای ایجـاد پایـداری و حفـظ سـلامت تولیـد در بوم‌نظام‌های کشاورزی، اجرای کشت مخلوط است. کشـت مخلـوط به‌عنوان یکی از شیوه‌های زراعی هم‌راستا با اهداف اکولوژیک (Raei et al., 2011)، افزایش کارآیی مصـرف منـابع (Mushagalusa et al., 2008) و پایـداری عملکـرد (Darbaghsahi et al., 2012) همواره مطرح بوده است. لذا به‌دلیل اهمیت، کشت مخلوط در شرایط اقلیمی گوناگون و مناطق مختلف جهـان تکامـل و گسـترش یافتـه است (Maffei & Mucciarelli, 2003). از مهم‌ترین فواید کشـت مخلوط افزایش تولید در واحد سطح نسبت به تـک‌کشـتی، بـه‌دلیـل استفاده بهتر از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک می‌باشد (Ruhlemann & Schmidtke, 2015)؛ که افـزایش نسبت برابری زمین را در سیستم‌های کشت مخلوط بـه همـراه دارد (Chapagain & Riseman, 2014; Ren, 2016).

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشـکده کشـاورزی، دانشـگاه بیرجنـد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:smahmoodi@birjand.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v13i3.83543

مزیت نظام‌های کشت مخلوط جهت افزایش عملکرد به عوامل مختلفی از جمله ترکیب گیاهان (Mahmoodi et al., 2014)، نوع رقم، تراکم گیاهی و سهم هر یک از گونه‌ها در کشت مخلوط (Hassanzadeh Aval et al., 2010) و فاصله قرارگیری از یکدیگر (Mahmoodi & Ghanbari, 2011) بستگی دارد. بر اساس پژوهش‌ها، هنگامی که دو گونه مختلف با ارتفاع بوته و پوشش گیاهی و الگوی رشد متفاوت هم‌زمان در کشت مخلوط قرار گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند و این موضوع سبب برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌گردد (Crabtree et al., 2000). در واقع، در هر مزرعه تحت مدیریت کشت مخلوط، شرایط و ویژگی‌های منحصر به فردی مشاهده می‌شود که خاص همان مزرعه است. به عبارت دیگر، هر نوع مخلوط خاص گیاهان، پویایی بوم‌شناختی منحصر به فرد خودش را خواهد داشت. این پویایی‌ها می‌توانند مطالعه شوند و اثرات آن‌ها بر عملکرد تعیین شود (Ghorbani et al., 2010). در این رابطه، بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که عملکرد کشت مخلوط ذرت (*Zea maize* L.) و لوبیا روغنی یا سویا (*Glycine max* L.) در تراکم‌های مختلف (Ren, 2016)، جو (*Hordeum vulgare* L.) و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) (Banik et al., 2006) و ذرت و بادمجان (*Solanum melongena* L.) (Dhima et al., 2007)، در مقایسه با تک‌کشتی این محصولات افزایش یافته؛ که در مجموع، علاوه‌بر استفاده بهینه از منابع و عوامل محیطی در جهت کاهش رقابت بین گونه‌ای؛ اختلاف ارتفاع، نحوه قرارگیری اندام‌های هوایی و زیرزمینی و نیز نیاز غذایی متفاوت گیاهان در شرایط کم‌نهاده بر افزایش عملکرد در کشت مخلوط آن تأثیرگذار بوده است.

برای پایداری و اطمینان از تأمین نیازهای غذایی بشر، لازم است سیستم‌های کشاورزی از طریق وارد کردن گونه‌های زراعی جدید و یا گیاهان فراموش شده در الگوهای مختلف کشت، زمینه را برای ثبات تولید و امنیت غذایی بشر فراهم سازد (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2008). خستگی انقلاب سبز و همچنین تأثیرپذیری شدید سایر محصولات از خشکی، باعث رونق گیاهانی نظیر کینوا شده است، زیرا این محصولات در شرایط نامطلوب کاهش عملکرد کمتری از خود نشان می‌دهند (Shahbazian et al., 2007). کینوا گیاهی ارزشمند و در عین حال سازگار با شرایط مختلف محیطی است؛ که در ایران گیاهی جدید به‌شمار می‌رود. این گیاه با پتانسیل بالای رشد و ارزش غذایی مطلوب در شرایط نامساعد عملکرد قابل قبولی تولید می‌کند. اخیراً امکان کشت این محصول و سازگاری آن با اقلیم‌های مختلف جغرافیایی ایران مورد پژوهش قرار گرفته و تولید محصول مناسب در کرج، خوزستان، بلوچستان و جنوب کرمان گزارش شده است (Sepahvand et al., 2011). از طرفی، به‌دلیل تنوع اقلیمی در ایران و امکان کشت و کار گیاهان مختلف، کینوا از نظر تولید به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک موجب تنوع در محصولات زراعی، تولید پایدار و امنیت غذایی خواهد شد (Jamali et al., 2016).

کینوا از خانواده تاج خروسیان[1] و زیرخانواده اسفناجیان[2] می‌باشد. این گیاه بومی رشته کوه‌های آند و کشورهای بولیوی، شیلی و پرو است. در سایر کشورها مانند آمریکا، چین، کشورهای اروپایی، کانادا و هند نیز کشت می‌گردد. در کشورهای آمریکای جنوبی از آن به‌عنوان «غله مادر» یاد می‌شود. کینوا به‌عنوان غذا در ترکیبات غذایی و یا جداگانه استفاده می‌گردد (FAO, 2011). گیاهی آلوتتراپلوئید (2n=4x=36) و دارای دانه‌های گرد و ریز می‌باشد. کینوا معمولاً خودگشن است و حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد دگرگشنی نیز دارد. این گیاه از گروه گیاهان سه کربنه (Gonzalez & Christiansen, 2016)، یک‌ساله، پهن‌برگ، دارای ریشه بسیار عمیق و ارتفاع بین یک تا دو متر است. کینوا مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزنده مانند سرما، خشکی و شوری از خود نشان می‌دهد و همچنین قابلیت رشد زیادی در زمین‌های حاشیه‌ای (غیرحاصل‌خیز) دارد (Jacobsen et al., 2009). این دانه نشاسته‌ای دولپه‌ای به‌عنوان شبه غله شناخته می‌شود (Lilian, 2009).

ارزن‌ها از لحاظ سطح زیر کشت و نقشی که در تأمین امنیت غذایی در مناطقی از آفریقا و آسیا دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (FAO & ICRISAT, 1996). این گروه از غلات دانه‌ای مقاوم به خشکی، به‌عنوان گیاهان فراموش شده در ایران، از پتانسیل بالایی برای تولید برخوردار می‌باشند (Kamkar & Mahdavi Damghani, 2008). ارزن با برخورداری از سیستم فتوسنتزی چهار کربنه، توزیع عمودی برگ‌ها، دوره رشد سریع و کوتاه در شرایط نامطلوب محیطی، بیشترین عملکرد اقتصادی را در مقایسه با سایر غلات تولید می‌کند (Safari, 2007; Ahmadvand & Hajinia,

1- Amaranthaceae
2- Chenopodiaceae

2016).

تراکم مناسب با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقـه و مشخصـات ارقـام تعیـین مـی‌شـود (Akintoye et al., 1997). از ایـن رو، در سال‌های اخیر توجه بیشتری به تحقیقات در زمینه تعیین تراکم گیاهی بهینه، نسبت به دیگر عوامـل مـؤثر در تولیـد قـرار گرفتـه اسـت. در صورتی‌که رطوبت یا یک عنصر غذایی ضروری عامل محـدودکننـده نباشد، یک کشاورز می‌تواند گیاه را در تراکم مطلـوب شـناخته شـده کشت کند و انتظار حداکثر عملکرد ممکن را برای یک گیاه یا واریته خاص داشته باشد. علاوه‌بر تراکم، اثرات تداخلی گیاه - گیاه و کاهش عملکرد نیز قابل توجه می‌باشند. با این وجود، این امکـان وجـود دارد که مشکل تراکم گیاهی، به‌وسیله کشت چندین گونه گیاهان، به‌نـام کشت مخلـوط یـا چنـد کشـتی برطـرف شـود (Ghorbani et al., 2010). در پژوهشی در شرایط اقلیمی بیرجند تـراکم مطلـوب بـرای کینوا رقم تیتیکاکا در کاشت بهاره بین ۴۰ تـا ۶۰ بوتـه در مترمربـع گـــزارش شـــد (Samadzadeh et al., 2019). مصـــطفایی (Mostafaee, 2018) نیز در تحقیق مشابهی تـراکم مناسـب کینـوا به‌عنوان کشت دوم در مردادماه برای رقـم $NSRCQ_1$ را حـدود ۱۰۰ بوته در مترمربع گزارش نمود. برای گیاه ارزن معمولی نیز تراکم بهینه ۶۰ بوته در مترمربع برای حصول حداکثر عملکرد دانه و بیولوژیک در تک‌کشتی آن در منطقـه بیرجنـد گـزارش شـده اسـت (Khamari, 2017). با این حال، تراکم مطلـوب ایـن گیاهـان در شـرایط کشـت مخلوط و همچنین کشت مخلوط کینوا با ارزن و نیز با سایر گیاهـان زراعی در منابع و پژوهش‌های علمی تاکنون مورد توجه قرار نگرفتـه است. دو گیاه کینوا و ارزن معمولی به‌سبب سـازگاری بـالا از جملـه مقاومت به خشکی، شوری، فقر خاکی و طول دوره رشد کوتاه، توانایی رشد بالایی در شرایط اقلیمی منـاطقی ماننـد بیرجنـد دارنـد. کشـت مخلوط دو گیاه نسبتاً مشابه از نظر مـدیریتی، مشـکلات چنـدانی را ایجاد نمی‌کند. در این خصوص می‌توان بـه هـم‌زمـانی کاشـت (روز کوتاهی) به‌عنوان کشت دوم یـا تابسـتانه و روش یکسـان داشـت و برداشت (دانه‌ریز بودن و عدم رسیدگی هم‌زمان دانه‌ها) اشاره کرد. این دو گیاه به لحاظ تفاوت‌های عمده در استفاده از منـابع ماننـد مسـیر فتوسنتزی، سیستم ریشه‌ای و شکل برگ و ارتفـاع متفـاوت، مکمـل یکدیگر در کشت مخلوط محسوب می‌شوند.

با توجه به اهمیت کشت مخلوط در جهت تحقق اهداف کشاورزی پایدار، این پژوهش با هدف بررسی اثر تراکم و نسـبت‌هـای مختلـف کشت مخلوط (تغییر هم‌زمان رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای) بر عملکرد ارزن معمولی و گیاه جدید کینوا در منطقه بیرجند انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقـاتی دانشـکده کشـاورزی دانشـگاه بیرجند با عرض جغرافیایی ´۵۶ و°۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ´۱۳ و°۵۹ شرقی در ارتفاع ۱۴۸۰ متری از سطح دریا اجـرا شـد. میـانگین کمینه و بیشینه دما در طی فصل رشد به‌ترتیب ۱۵/۱۲ و ۳۲/۵۳ درجه سانتی‌گراد بود. نتایج آزمون خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical analysis of field soil

بافت Texture	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	پتاسیم K	سدیم Na	کلسیم Ca	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC
	(%)			($meq.lit^{-1}$)				($dS.m^{-1}$)
لوم شنی Sandy loam	52.7	28.2	19.1	44.0	9.2	21.9	7.8	8.3

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالـب طـرح بلـوک‌هـای کامـل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول تراکم کاشت در سـه سـطح ۵۰ درصد بهینه، بهینه و ۱۵۰ درصد بهینه بود. تراکم بهینه با توجه به تشابه اندازه بذر، ارتفاع و فضای تحت اشغال، برای هر دو گیاه معادل ۴۰ بوتــه در مترمربــع در نظــر گرفتــه شــد (Safari, 2007; Ahmadvand & Hajinia, 2016; Khamari, 2017; Samadzadeh et al., 2019). به این ترتیب، سطوح عامـل تـراکم هر دو گیاه معادل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع (به‌ترتیب D_1 تا D_3) بود. عامل دوم نیز نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی جایگزینی دو گیاه ارزن معمولی و کینوا شامل پنج سطح تک‌کشـتی ارزن معمـولی (۰- ۱۰۰)، مخلوط ۷۵ درصد ارزن معمولی + ۲۵ درصد کینـوا (۲۵- ۷۵)،

مخلوط ۵۰ درصد ارزن معمولی + ۵۰ درصد کینوا (۵۰ –۵۰)، مخلوط ۲۵ درصد ارزن معمولی + ۷۵ درصد کینوا (۷۵– ۲۵) و تک‌کشتی کینوا (۱۰۰–۰) (به‌ترتیب P_1 تا P_5) بود که از طریق تعداد خطوط کاشت اعمال شد.

آزمایش در زمینی به‌مساحت ۱۷۰۰ مترمربع (با احتساب فواصل، حاشیه‌ها، نهرها و فاضلاب‌ها) انجام شد. کرت‌های آزمایش به‌ابعاد ۲۴ مترمربع (۴×۶) مشتمل بر هشت ردیف کاشت به‌منظور ایجاد الگوی مورد نظر بودند. نسبت‌های فوق در هر کرت به‌ترتیب به‌صورت کشت خالص ارزن معمولی، سه ردیف ارزن و یک ردیف کینوا، یک درمیان ارزن و کینوا، یک ردیف ارزن و سه ردیف کینوا و کشت خالص کینوا بود. فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌ها به‌ترتیب یک و دو متر در نظر گرفته شد. با توجه به تراکم ۲۰، ۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع برای هر دو گیاه، فواصل بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فواصل روی ردیف در تراکم سطح اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۱۰، ۵ و ۳/۳ سانتی‌متر برای هر دو گیاه لحاظ گردید (Khamari, 2017; Samadzadeh et al., 2019).

ارقام مورد استفاده در آزمایش شامل رقم پیشاهنگ ارزن معمولی و رقم تیتیکاکا کینوا بود. پیشاهنگ تنها رقم اصلاح شده ارزن معمولی در کشور است. از نظر تولید دانه متوسطرس با پتانسیل عملکرد بالا می‌باشد، دارای ساقه کاملاً ایستاده، خوشه بلند و باز، با میانگین ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر و متوسط عملکرد دانه ۱۵۰۰کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر ارقام ارزن معمولی متمایز می‌گردد (Torabi, 2016). رقم تیتیکاکا نیز با خصوصیات زودرسی، بی‌تفاوت به طول روز، دارای گل‌آذین سنبله مرکب متراکم، میانگین ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر و نسبتاً تلخ از نظر میزان ساپونین قابل تمایز نسبت به سایر ارقام کینوا می‌باشد (Sepahvand et al., 2011).

بذور ارزن معمولی و کینوا به‌ترتیب از جهاد کشاورزی خراسان جنوبی و مرکز تحقیقات شوری یزد تهیه شد.کاشت در ۱۵ تیرماه ۱۳۹۷ به‌صورت دستی انجام شد. بذور به‌صورت کپه‌ای (هر کپه سه بذر) روی ردیف و در عمق دو تا سه سانتی‌متری کشت گردید. برای سبز شدن یکنواخت بذور روی آن‌ها مخلوط ماسه نرم و کود حیوانی پوسیده (کود گاوی) ریخته شد. تنک کردن بوته‌ها جهت حصول تراکم مورد نظر در مرحله سه تا چهار برگی پس از استقرار کامل گیاهان با حذف بوته‌های ضعیف صورت پذیرفت. مراحل داشت شامل وجین منظم علف‌های هرز، هشت مرحله آبیاری نشتی سبک با دور تقریبی ۱۰ روز و کوددهی بر اساس نیاز و آزمون خاک، در سه نوبت قبل از کاشت، ساقه‌دهی و گل‌دهی انجام شد. همچنین کنترل و مدیریت آفات (مبارزه با سرخرطومی کوتاه و بلند چغندرقند، برگ‌خوار کارادرینا و ملخ در کینوا به‌ترتیب با سموم سیستمیک استامی پراید و سوین آغشته به سبوس به‌صورت طعمه در دو مرحله علیه حشرات بالغ و لارو آن‌ها) و امراض در اولویت قرار گرفت.

نمونه‌برداری و برداشت نهایی با رعایت اصول حاشیه با استفاده از بوته‌های چهار ردیف وسط و احتساب حذف نیم متر جهت تعیین عملکرد و سپس شاخص‌های کشت مخلوط، پس از خشک شدن کامل بوته‌ها و قبل از ریزش دانه‌ها از سطحی معادل دو مترمربع از نیمه دوم کرت‌ها (نیمه غیرتخریبی) در آبان‌ماه انجام شد. تشخیص زمان برداشت منوط به خشک شدن کامل با تست رطوبت ۱۴ درصد به‌وسیله آون (دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت) بود. بوته‌ها جهت تعیین عملکرد بیولوژیک با ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۱ گرم) توزین شدند. دانه‌ها با خلوص فیزیکی بالا (عاری از سایر اجزاء) به‌روش دستی از پانیکول جدا گردید و وزن آن‌ها برای عملکرد دانه (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه میزان سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی و همچنین بررسی اثرات رقابتی بین ارزن معمولی و کینوا در کشت مخلوط بر اساس عملکرد دانه، از شاخص‌ها و معادلات ۱ تا ۸ استفاده شد (Tsubo et al., 2001; Banik et al., 2006; Dhima et al., 2007; Zand et al., 2010; Lithourgidis et al., 2011)

$$LER = \frac{Y_{mq}}{Y_{mm}} + \frac{Y_{qm}}{Y_{qq}}$$

معادله (۱)

در معادله ۱، LER[1]: نسبت برابری زمین، Ymq و Ymm: به‌ترتیب عملکرد دانه ارزن معمولی در کشت مخلوط و خالص آن و Yqm و Yqq: نیز عملکرد دانه کینوا در کشت مخلوط و خالص را نشان می‌دهد.

$$RYT = \left(\frac{Ymq}{Ymm}\right) + \left(\frac{Yqm}{Yqq}\right)$$

معادله (۲)

در معادله ۲، RYT[2]: مجموع عملکرد نسبی، Ymq و Ymm: به‌ترتیب عملکرد ارزن معمولی در کشت مخلوط و خالص آن، همچنین Yqm و Yqq: به‌ترتیب عملکرد کینوا در کشت مخلوط و

1- Land Equivalent Ratio
2- Relative yield Total

خالص می‌باشد.

معادله (۳)
$$AYL = AYLm + AYLq$$

معادله (۴)
$$AYL_m = [LER \times \left(\frac{100}{Z_{mq}}\right) - 1]$$

معادله (۵)
$$AYL_q = [LER \times \left(\frac{100}{Z_{qm}}\right) - 1]$$

در معـادلات ۳، ۴ و ۵، AYL[۳]، AYLm و AYLq: بـه‌ترتیـب کاهش یا افزایش عملکرد واقعی کـل، عملکـرد جزئـی ارزن و کینـوا می‌باشد. همچنین، LER، Zmq و Zqm: به‌ترتیب شـاخص برابـری زمین، درصد ارزن معمولی و کینوا را در کشت مخلوط نشان می‌دهد.

معادله (۶)
$$CRm = (\frac{LERm}{LERq}) \times (\frac{Zqm}{Zmq})$$

معادله (۷)
$$CRq = \left(\frac{LERq}{LERm}\right) \times \left(\frac{Zmq}{Zqm}\right)$$

در معادلات ۶ و ۷، CR[۴]m و CRq: به‌ترتیب نسبت رقابت ارزن معمولی و کینوا، همچنین LERm و LERq: نسـبت برابـری زمـین ارزن و کینوا و Zmq و Zqm: درصد ارزن معمولی و کینوا را در کشت مخلوط نشان می‌دهد.

معادله (۸)
$$Amq - \frac{Ymq}{Ym \times Zmq} - \frac{Yqm}{Yq \times Zqm}$$

در معادله ۸، A[۵]mq: شاخص غالبیـت ارزن معمـولی نسـبت بـه کینوا، Ymq و Yqm: به‌ترتیب عملکرد دانه ارزن معمولی و کینوا در کشت مخلوط، Ym × Zmq: عملکرد پیش‌بینی شده ارزن معمولی در مخلوط (عملکرد ارزن در تک‌کشتی × درصد ارزن در مخلوط) و Yq × Zqm: عملکرد پیش‌بینی شده کینوا در مخلوط (عملکـرد کینـوا در تک‌کشتی × درصد کینوا در مخلوط) می‌باشد.

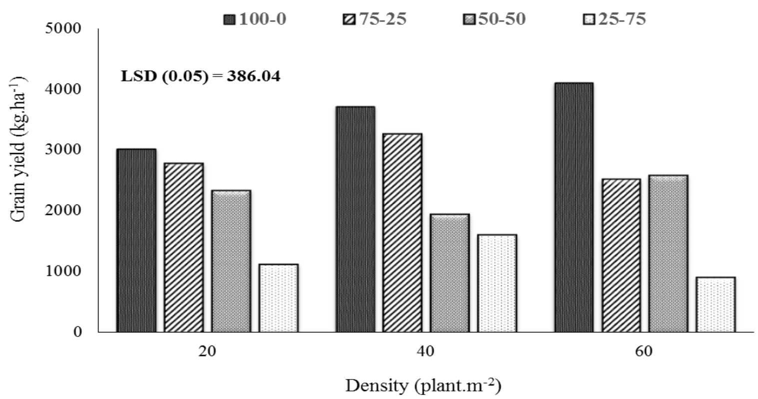
داده‌ها پس از نرمال‌سازی، با استفاده از نرم‌افزار SAS ویرایش ۹ تجزیه و تحلیل آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمـون LSD حفاظت شده در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. بـرای دیگر محاسبات و رسم اشکال نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

1- Actual Yield Loss or Gain
2- Competitive Ratio
3- Aggressivity Index

نتایج و بحث

عملکرد دانه ارزن معمولی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم کشت، نسبت‌هـای کاشت و اثر متقابل آن‌ها بر عملکـرد دانـه ارزن معمـولی (p<0.01) معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش نسبت هر یک از گیاهـان در کشـت مخلوط افزایش عملکرد آن را به‌دنبال داشت؛ به‌طوری‌کـه بیشـترین عملکرد دانه ارزن معمولی در نسبت‌های کاشت به تـک‌کشـتی ارزن معمولی در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع با عملکرد دانه ۴۱۰۰ کیلـوگرم در هکتار اختصاص یافت و بالتبع کمترین مقدار در کشت مخلوط ۲۵ درصد ارزن معمولی و ۷۵ درصد کینوا به تراکم‌های ۲۰ و ۶۰ بوته در مترمربع مشاهده شد؛ که این مقـدار کـاهش نسـبت بـه تیمـار برتـر به‌ترتیب ۷۲/۵۶ و ۷۷/۸۷ درصد بود. در بررسی اثر متقابل، بیشـترین عملکرد دانه با ۳۲۶۷/۵ کیلوگرم در هکتار در نسبت ۷۵ درصد ارزن با ۲۵ درصد کینوا در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد. با افزایش تراکم از تعداد نسبت کاشت در جهت افزایش عملکرد دانه کاسته شد. به‌طـوری‌کـه در تـراکم ۲۰ هـر سـه نسـبت کاشـت، در تـراکم ۴۰، نسبت‌هـای ۲۵- ۷۵ و ۷۵- ۲۵ و تـراکم ۶۰ فقـط نسـبت ۵۰ -۵۰ افزایش عملکرد داشته‌اند که بیانگر افزایش رقابـت بـین گونـه‌ای در تراکم‌های بیشتر است. در حالی که، در تـک‌کشـتی افـزایش تـراکم تأثیری بر رقابت درون گونه‌ای نداشت (شکل ۱). با توجه به نتایج این تحقیق عملکرد دانه ارزن معمولی در کشت خالص با افـزایش تـراکم افزایش یافت. در تراکم کمتر به‌دلیل افزایش اجـزای عملکـرد (تعـداد پنجه بارور و شاخص سطح برگ)، متوسط عملکرد هر بوته افـزایش یافت، در حالی که کمتر بودن تعداد بوته‌هـا در واحـد سـطح موجـب کاهش عملکرد در واحد سطح شد. در واقع، به‌نظـر مـی‌رسـد شـرایط محیطی و دسترسی گیاه به آن در تراکم مطلوب ۶۰ بوته در مترمربع عامل محدودکننده نبوده است. به‌عبارتی، علت افزایش عملکرد دانه با افزایش تراکم را می‌توان به پوشش مناسب‌تـر سـطح مزرعـه توسـط بوته‌ها و استفاده بهینـه از عوامـل محیطـی نسـبت داد. ایـن مطلـب نشان‌دهنده تراکم‌پذیری غـلات بـا مسـیر فتوسـنتزی C_3 در زمـان فراهمی منابع به‌ویژه نور می‌باشد. در این رابطه خمری (Khamari, 2017) به نتایج مشابهی در کشت مخلوط ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) و سـورگوم دانـه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) در منطقه بیرجند دست یافت.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم گیاهی و نسبت‌های مختلف کاشت با کینوا بر عملکرد دانه ارزن معمولی

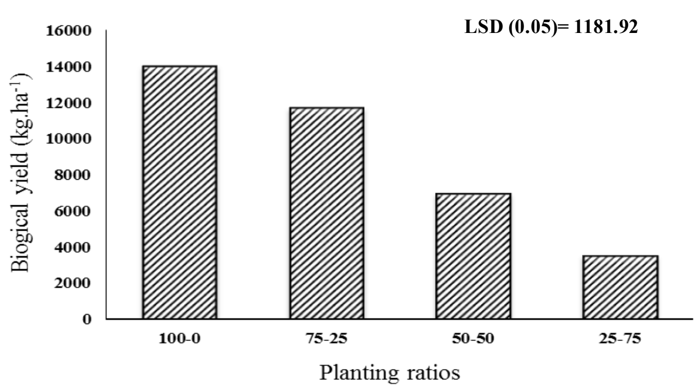
Fig. 1- Mean comparisons for interaction effects of plant density and different planting ratios with quinoa on grain yield of common millet

(در هر نسبت کاشت، عدد اول مربوط به ارزن معمولی می‌باشد.)

(In each planting ratios, the first number is for the common millet.)

عملکرد بیولوژیک ارزن معمولی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نسبت کشت بر عملکرد بیولوژیک ارزن معمولی ($P<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک ارزن معمولی در نسبت‌های کشت، به تک‌کشتی ارزن معمولی برابر ۱۴۰۰۶/۱۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک ارزن معمولی (۳۵۱۷/۲۲ کیلوگرم در هکتار) به کشت مخلوط ۲۵ درصد ارزن معمولی و ۷۵ درصد کینوا با کاهش ۷۵ درصدی نسبت به تک‌کشتی ارزن اختصاص یافت. هر چند که عملکرد واقعی منطبق بر عملکرد پیش‌بینی شده بود (معادله ۸). اثر تراکم و اثر متقابل تراکم و نسبت کاشت بر عملکرد بیولوژیک ارزن معنی‌دار نگردید. به‌طوری‌که افزایش اجزای عملکرد به‌ویژه تعداد پنجه، افزایش شاخص سطح برگ و قطر ساقه که در راستای کاهش رقابت درون گونه‌ای در تراکم‌های پایین اتفاق می‌افتد، کاهش عملکرد در تراکم‌های کمتر را جبران نموده است (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف کاشت با کینوا بر عملکرد بیولوژیک ارزن معمولی

Fig. 2- Mean comparison for planting different ratios effect with quinoa on biological yield of common millet

(در هر نسبت کاشت، عدد اول مربوط به ارزن معمولی می‌باشد.)

(In each planting ratios, the first number is for the common millet.)

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه و بیولوژیک ارزن معمولی و کینوا در کشت خالص و مخلوط

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for grain and biological yield of millet and quinoa in sole and intercropping

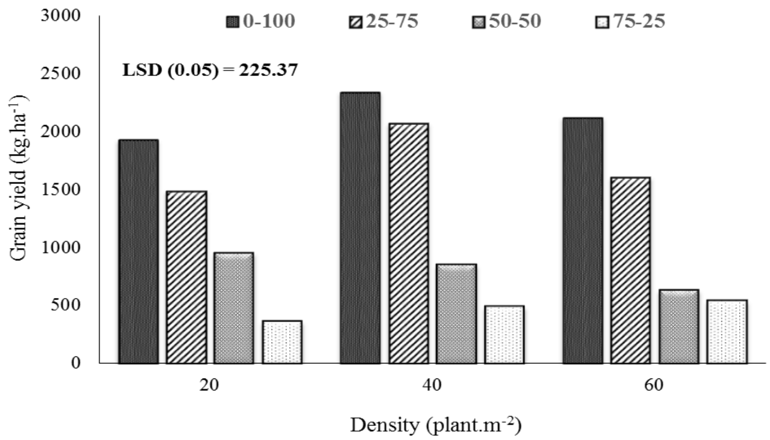
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	کینوا Quinoa		ارزن Millet	
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
بلوک Block	2	15410.58 ns	40879.86 ns	22335.44 ns	125146.53 ns
تراکم Density (D)	2	225424.75**	2935586.11**	308850.24**	3308077.78 ns
نسبت‌های کاشت Planting ratios (P)	3	5425374.26**	74420595.14**	9192485.54**	199688491.40**
D×P	6	98223.71**	1487813.89**	567396.95**	2923329.63 ns
خطا Error	22	17713.86	309251.07	51976.70	1461590.47
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		10.40	13.14	9.15	13.38

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively

عملکرد دانه کینوا

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم، نسبت‌های کاشت و اثر متقابل بین آن‌ها بر عملکرد دانه کینـوا ($p<0.01$) معنـی‌دار بـود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه کینوا در بین نسبت‌های کاشت، بـه تک‌کشتی کینوا در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع با عملکرد دانـه ۲۳۴۰ کیلوگرم اختصاص یافت و کمترین مقدار عملکرد دانه کینوا در کشت مخلوط ۲۵ درصد کینوا و ۷۵ درصد ارزن معمولی در تراکم ۲۰ بوتـه در مترمربع مشاهده شد، که این مقدار کاهش در مقایسه با تیمار برتر برابر با ۸۴/۶۲ درصد بود. با کاهش نسبت کاشت برای کینوا عملکرد نیز کاهش یافت. در این رابطه، عملکرد بالقوه کینوا در صورتی‌که کلیه شرایط مطلوب برای آن فراهم باشد، بسته به رقم و منطقه کشت، ۱/۵ تا شش تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2011). صـمدزاده و همکاران (Samadzadeh et al., 2019) نیز تراکم ۴۰ تا ۶۰ بوته را برای حصول عملکرد مناسب در تک‌کشتی کینوا رقم تیتیکاکا مناسب دانستند. بررسی اثر متقابل نشان داد که عملکـرد دانـه تحـت تـأثیر نسبت‌های کاشت و تراکم بوته قرار گرفت. کینـوا در تیمـار ترکیبـی تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و نسبت کشت ۷۵ درصد کینوا و ۲۵ درصد ارزن برتری عملکردی نشان داد. با افزایش تراکم برتری عملکـردی کینوا در نسبت‌های کاشت بـا درصـد بیشـتر کینـوا کـاهش یافـت. به‌طوری‌که نسبت ۵۰-۵۰ درصد کـاهش عملکـرد دانـه بیشـتری را نشان داد. تراکم بهینه با توجه به عملکرد دانه، در هر دو کشت خالص و مخلوط، ۴۰ بوته در مترمربع حاصل شد، که در کشت مخلوط مؤید تعادل در انواع رقابت می‌باشد. از سـوی دیگـر، ایـن امـر احتمـالاً در راستای تخصیص، توزیع و همچنین کارآیی بهتر منابع صورت گرفته است (شکل ۳). در این تحقیق به‌طور کلی، حصول عملکـرد مناسـب کینوا با کسب درجه روز تجمعی برابر با ۲۴۴۰ و نیز عدم برخورد دوره گرده‌افشانی و پر شدن دانه‌ها با گرمای زیاد همراه بود.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم گیاهی و نسبت‌های مختلف کاشت با ارزن بر عملکرد دانه کینوا

Fig. 3- Mean comparison for in-traction effects of plant density and planting different ratios with millet on grain yield of quinoa

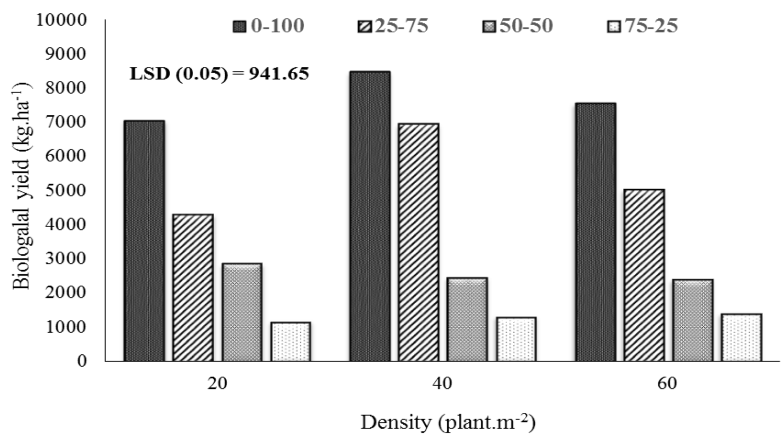
(در هر نسبت کاشت، عدد دوم مربوط به کینوا می‌باشد)

(In each planting ratios, the second number is for the Quinoa)

عملکرد بیولوژیک کینوا

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم کشت، نسبت‌های کاشت و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد بیولوژیک کینوا ($p<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک کینوا در بین نسبت‌های کاشت، به تک‌کشتی کینوا در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع با عملکرد بیولوژیک ۸۴۶۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار به کشت مخلوط ۲۵ درصد کینوا و ۷۵ درصد ارزن اختصاص یافت، که این مقدار کاهش در مقایسه با تیمار برتر به‌ترتیب ۸۶/۳۵ ، ۸۴/۶۴ و ۸۳/۵۸ درصد در راستای کاهش سهم به‌ترتیب در تراکم‌های ۶۰، ۴۰ و ۲۰ بوته در مترمربع حاصل شد. بررسی اثر متقابل افزایش عملکرد بیولوژیک را بر اساس عملکرد پیش‌بینی شده (معادله ۸) در نسبت ۷۵ درصد کینوا و ۲۵ درصد ارزن در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع نشان داد. در سایر سطوح تراکمی و نسبت‌های کاشت کاهش دیده شد (شکل ۴). در واقع، با کاهش سهم کینوا به ۵۰ و ۲۵ درصد، عملکرد بیولوژیک در نسبت‌های کاشت مشابه و سطوح مختلف تراکم، تقریباً یکسان بوده است. این نتیجه نشان می‌دهد که ارزن معمولی فقط در یک تیمار تأثیر مثبتی بر عملکرد بیولوژیک کینوا داشته است؛که احتمالاً از کاهش رقابت بین گونه‌ای و در ادامه استفاده حداکثری از عوامل محیطی نشأت گرفته باشد.

صمدزاده و همکاران (Samadzadeh et al., 2019) گزارش کردند که در شرایط تک‌کشتی کینوا با افزایش تراکم گیاهی در تمامی تاریخ‌های کاشت (نیمه اردیبهشت، خرداد و تیر)، زیست‌توده تولیدی کینوا (عملکرد بیولوژیک) افزایش یافت. در تراکم های ۱۵ و ۳۰ بوته در مترمربع با تأخیر در کاشت، عملکرد بیولوژیک کاهش یافت، در حالی‌که این موضوع در تراکم‌های ۴۵ و ۶۰ بوته در مترمربع کمتر مشاهده شد. به عبارت دیگر، در شرایط تأخیر در کاشت با افزایش تراکم بوته می‌توان به افزایش عملکرد بیولوژیک کمک کرد. در آزمایش مذکور بیشترین عملکرد بیولوژیک ۱۹۶۸ کیلوگرم در هکتار بود. علت اختلاف نتایج مذکور با نتایج آزمایش کنونی به تفاوت در تاریخ کاشت مربوط می‌شود. در همین راستا به عواملی مانند زمان مناسب کاشت در یک منطقه جهت حصول نیاز حرارتی لازم با توجه به دمای مطلوب مراحل نمو فنولوژیکی و مدیریت مزرعه می‌توان اشاره کرد.



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم گیاهی و نسبت‌های مختلف کاشت با ارزن بر عملکرد بیولوژیک کینوا

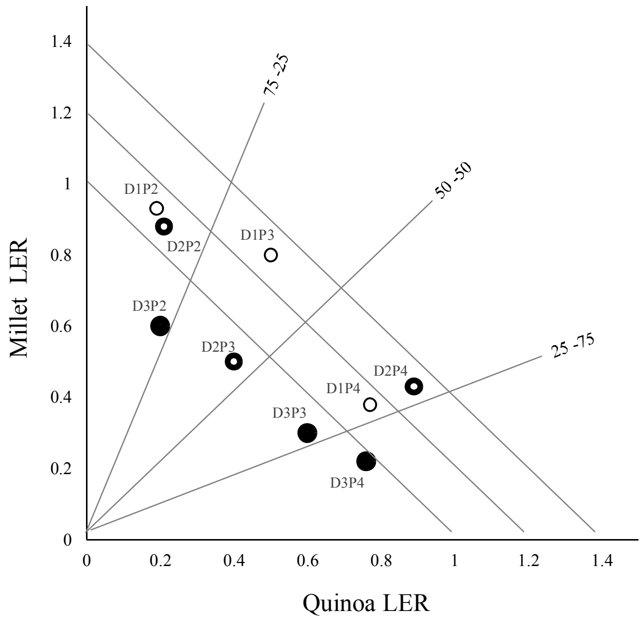
Fig. 4- Mean comparison for in-traction effects of plant density and planting different ratios with millet on biological yield of quinoa

(در هر نسبت کاشت، عدد دوم مربوط به کینوا می‌باشد)

(In each planting ratios, the second number is for the quinoa)

ارزیابی نسبت برابری زمین کشت مخلوط بر اساس عملکرد دانه

نسبت برابری زمین (LER) مرسوم‌ترین و مهم‌ترین شاخصی است که جهت ارزیابی کشت مخلوط به‌کار می‌رود. ملاک برتری کشت مخلوط بر تک‌کشتی در ارزیابی این شاخص عدد بزرگ‌تر از یک می‌باشد (Tsubo et al., 2001). مطابق شکل ۵، LER در نسبت‌ها و تراکم‌های مختلف کاشت ۲۰ و ۴۰ بوته در مترمربع به‌جز نسبت کاشت ۵۰ -۵۰ در تراکم ۴۰، بالاتر از یک می‌باشد. به عبارت دیگر، در ۵۵ درصد از تیمارها کشت مخلوط بر تک‌کشتی ارجحیت داشت؛ که نشان داد برآیند خالص دو اصل رقابت و مساعدت بیشتر از یک می‌باشد. بیشترین LER مربوط به تراکم ۴۰ بوته در مترمربع در نسبت ۲۵ درصد ارزن معمولی و ۷۵ درصد کینوا مساوی ۱/۳۲ به‌دست آمد. به نظر می‌رسد در این تراکم برآیند استفاده مطلوب از نهاده‌های موجود و کاهش رقابت‌های درون و برون گونه‌ای در جهت حصول حداکثری عملکرد حاصل شده است.کمترین LER نیز در تیمار ۷۵ درصد ارزن معمولی و ۲۵ درصد کینوا در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع با ۰/۸۷ حاصل شد. این شاخص به‌خصوص در تیمارهای با نسبت‌های مختلف در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع، کمتر از یک بود. به‌نظر می‌رسد که تراکم نقش مهم‌تری نسبت به سهم هر جزء از اجزای مخلوط در افزایش یا کاهش LER داشته باشد. در واقع، با افزایش تراکم به‌دلیل ابتدا رقابت درون گونه‌ای و سپس برون گونه‌ای از مزیت کشت مخلوط کاسته شده است؛ که این امر طبیعی به نظر می‌رسد. از طرفی، با توجه به تولید عملکرد قابل قبول و پتانسیل رشد زیاد گیاه کینوا در زمین‌های حاشیه‌ای و غیرحاصل‌خیز که قبلاً اشاره شد؛ در شرایط مساعد مزرعه‌ای مانند پژوهش حاضر به‌دلیل فراهمی آب و عناصر غذایی و با ایجاد ساختار مناسب و کانوپی موجی کشت مخلوط آن در جهت استفاده حداکثری از منابع به‌خصوص تشعشع، از رقابت بین گونه‌ای اندکی با ارزن برخوردار بوده، به همین دلیل اثر منفی کمتری بر عملکرد ارزن داشته و در نتیجه، LER کل را با افزایش LER جزئی خود و به‌ویژه ارزن افزایش داده است. در نهایت، نتایج نشان داد، با در نظر گرفتن نسبت‌های مختلف کاشت مشارکت و تأثیر مثبت هر دو گیاه ارزن و کینوا در افزایش نسبت برابری زمین مساوی بوده است (شکل ۵). لذا می‌توان اظهار داشت که یافته این پژوهش با کشت مخلوط بسیاری از گیاهان از جمله ذرت و سویا در تراکم‌های مختلف (Ren, 2016)، سویا و ارزن معمولی (Ahmadvand & Hajinia, 2016) و جو با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Chapagain & Riseman, 2014) در افزایش LER مطابقت دارد.



شکل ۵- نسبت برابری زمین کشت مخلوط ارزن معمولی و کینوا بر اساس عملکرد دانه

Fig. 5- Land Equivalent Ratio (LER) of common millet and quinoa based on grain yield

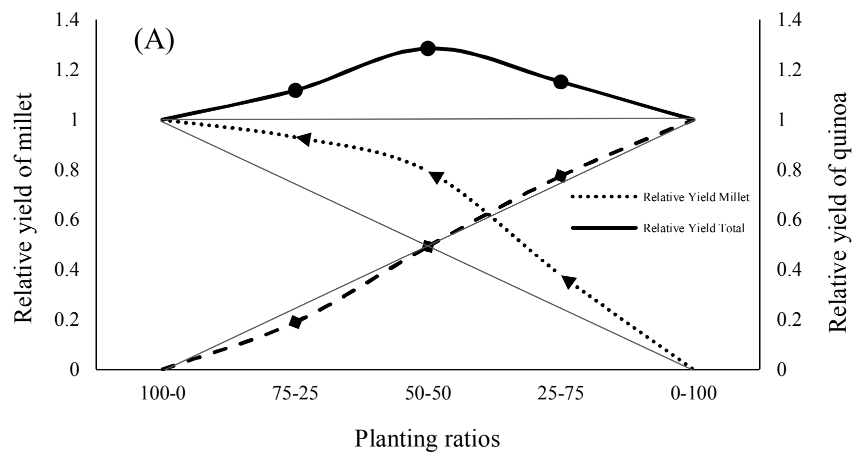
D_1، D_2 و D_3 به‌ترتیب تراکم ۲۰، ۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع؛ نسبت‌های کاشت به‌ترتیب P_2 (۷۵ درصد ارزن و ۲۵ درصد کینوا)، P_3 (۵۰ درصد ارزن و ۵۰ درصد کینوا) و P_4 (۲۵ درصد ارزن و ۷۵ درصد کینوا)؛ خطوط داخل نمودار به‌ترتیب ۲۵- ۷۵ (۷۵ درصد ارزن و ۲۵ درصد کینوا)، ۵۰ -۵۰ (۵۰ درصد ارزن و ۵۰ درصد کینوا) و ۷۵- ۲۵ (۲۵ درصد ارزن و ۷۵ درصد کینوا). اندازه و تیرگی نقاط دایره‌ای نیز معرف تیمارها بر اساس عامل تراکم از کم به زیاد می‌باشد.

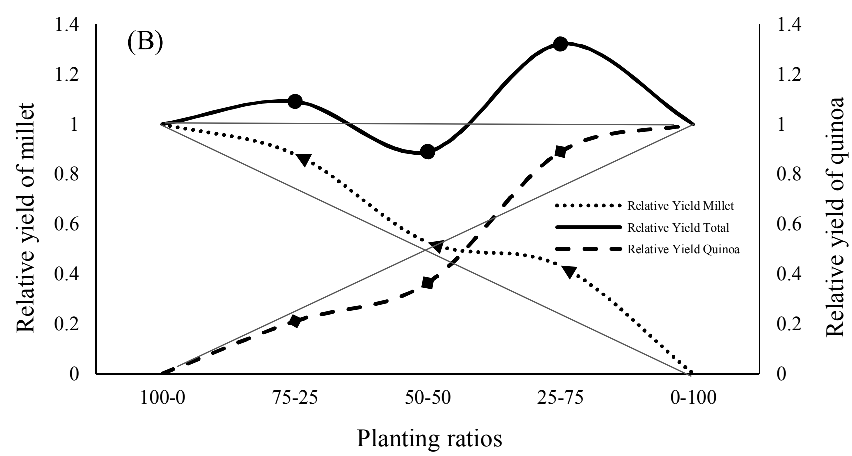
D_1, D_2 and D_3: plant density of 20, 40 and 60 (plants.m^{-2}) respectively; P_2 (75% M + 25% Q), P_3 (50% M + 50% Q) and P_4 (25% M + 75% Q): planting ratios respectively; 75-25 (75% M + 25% Q), 50-50 (50% M + 50% Q) and 25-75 (25% M + 75% Q): lines in graph respectively. The size and opacity of the circular points represent the treatments based on the density factor from low to high.

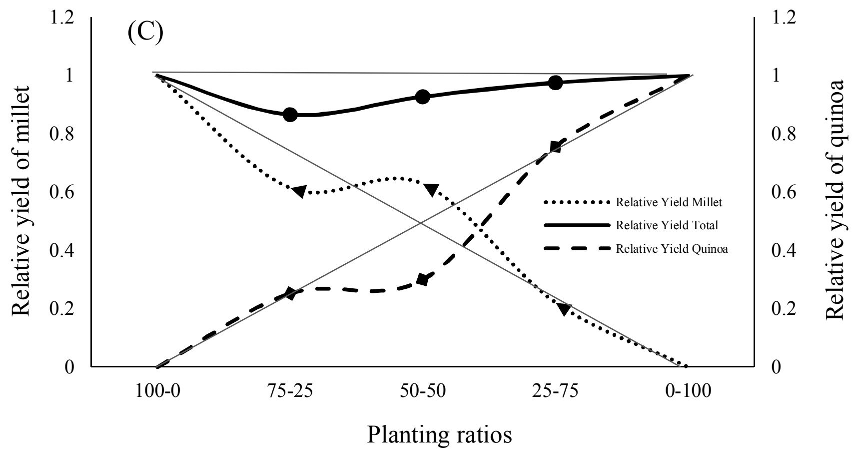
شاخص عملکرد نسبی

نتیجه کشت مخلوط معمولاً بر اساس مجموع عملکرد نسبی (RYT) یا نسبت برابری زمین ارزیابی می‌شود. از جمع نمودن مقادیر عملکرد نسبی جزئی هر دو گیاه زراعی در مخلوط، عملکرد نسبی کل برای آن مخلوط به‌دست می‌آید. این شاخص چگونگی استفاده یک گونه را از منابع در مقایسه با سایر گونه‌ها توصیف می‌کند (Zand et al., 2010). مطابق شکل ۶ به‌جز در نسبت‌های ۲۵- ۷۵ (ارزن- کینوا) و ۷۵- ۲۵ در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع (شکل ۶- ج)، در سایر تیمارها افزایش عملکرد نسبی برای ارزن معمولی مشاهده شد. از طرفی، در کینوا عملکرد نسبی فقط در نسبت ۷۵- ۲۵ تراکم ۴۰ بوته در مترمربع (شکل ۶- ب)، افزایش نشان داد (۰/۸۹)؛ دو تیمار کاهش و سایر تیمارها مطابق عملکرد مورد انتظار یا پیش‌بینی شده (معادله ۸) عمل نمودند. نتایج فوق حاکی از بهره‌برداری بهتر ارزن معمولی از منابع و شرایط محیطی است. با افزایش تراکم از مجموع عملکرد نسبی کاسته شده است. به‌طوری‌که، در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع (شکل ۶- الف) هر سه نسبت کاشت و در تراکم ۴۰ دو نسبت، افزایش عملکرد را نشان دادند. در حالی که، تراکم ۶۰ با وجود افزایش عملکرد نسبی ارزن معمولی در نسبت ۵۰ -۵۰، از کاهش عملکرد نسبی کل برخوردار است. بیشترین مقدار عملکرد نسبی کل در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع، در نسبت ۵۰ -۵۰ برابر ۱/۲۹ حاصل شد، که متأثر از افزایش عملکرد ارزن بود. در نهایت، بیشترین RYT مربوط به تراکم ۴۰ در نسبت ۲۵ درصد ارزن معمولی و ۷۵ درصد کینوا برابر ۱/۳۲ به‌دست آمد، که افزایش عملکرد نسبی جزئی هر دو گیاه در آن نقش داشته است. به عبارتی، حداکثر RYT زمانی حادث می‌شود که تعادل بین رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای ایجاد شود. در واقع اگر اجزای کشت مخلوط از منابع محیطی به طرق متفاوت بهره‌برداری کنند، باعث کاهش رقابت یا مانع از بروز آن شده و عملکرد نسبی کل بزرگ‌تر از یک می‌شود؛ که این موضوع در مورد این دو گیاه صدق

می‌کند. در ارزیابی شکل‌های سری جایگزینی چنـان‌چـه منحنـی دو گونه در نسبت با سـهم مسـاوی (۵۰–۵۰) همـدیگر را قطـع نماینـد نشان‌دهنده عدم وجود رقابـت بـین گونـه‌هاسـت (Atri & Zand, 2004). بررسی شکل ۶ نشان داد که منحنی عملکرد نسبی جزئی دو گیاه ارزن و کینوا ابتدا در تراکم مطلوب ۴۰ بوته و سپس ۲۰ بوته در مترمربع، با کمترین فاصله از نقطه تلاقی نسبت ۵۰–۵۰ همـدیگر را قطع نموده، که نمایانگر کمترین میزان رقابت بین گونه‌ای است. امّا در تراکم ۶۰ بوته نقطه برخورد منحنی دو گیاه دورتر از نقطه تلاقـی نسبت ۵۰–۵۰ حادث شد، که وجود رقابت حداکثری بین گونـه‌هـا را تأیید می‌نماید. به نحوی که، هر چه محل تلاقی نقاط از نقطـه ۵۰–۵۰ فاصله بیشتری داشته باشـد، رقابـت بـین گونـه‌ای نیـز افـزایش می‌یابد. به‌طور کلی، عملکرد نسبی کـل افـزایش ۹۷ درصـدی را در برابر ۳۲ درصد کاهش در کلیه تیمارهای کشت مخلوط نشان داد، که به عبارت دیگر، از مزیت سه به یک در این پـژوهش برخـوردار بـود. افزایش RYT توسط محققین زیادی گزارش شده است، از آن جملـه می‌توان به ۱/۳۸ برای مخلوط ذرت با لوبیا، ۱/۵۳ برای مخلوط ارزن معمولی با سورگوم، ۱/۸۵ برای مخلوط جو با باقلا (*Vicia faba* L.) اشاره نمود (Zand et al., 2010; Khamari, 2017).







شکل ٦– عملکرد نسبی دانه ارزن معمولی و کینوا و مجموع آن در تراکم گیاهی ۲۰ (الف)، ٤۰ (ب) و ٦۰ بوته در مترمربع (ج) در نسبت‌های مختلف کاشت (خطوط صاف بیانگر عملکرد پیش‌بینی شده می‌باشد)

Fig. 6- Relative grain yield of common millet and quinoa, and relative yield total at different plant densities (20 (A), 40 (B) and 60 (C) plant.m^{-2}) and planting ratios (straight lines indicated predictably yield)

شاخص کاهش یا افزایش عملکرد واقعی دانه کشت مخلوط

شاخص عملکرد واقعی (AYL) کاهش عملکرد یا سودمندی هر گیاه را در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص نشان می‌دهد. علامت مثبت نشان‌دهنده افزایش عملکرد واقعی و علامت منفی نشان‌دهنده کاهش عملکرد واقعی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد (Banik et al., 2006). AYL می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری را نسبت به سایر شاخص‌ها در خصوص رقابت درون گونه‌ای و رفتار اجزای تشکیل‌دهنده کشت مخلوط در اختیار ما قرار دهد (Dhima et al., 2007). از شاخص AYL جزئی می‌توان کاهش یا افزایش عملکرد را به‌دست آورد. با توجه به جدول ۳، AYL ارزن معمولی به‌جز در دو نسبت ۲۵– ۷۵ و ۷۵– ۲۵ درصد ارزن معمولی و کینوا در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع، در سایر موارد افزایش عملکرد را نشان داد. این افزایش در برابر کاهش عملکرد دو تیمار ذکر شده قابل توجه است. AYL کینوا نیز در دو نسبت ۲۵– ۷۵ و ۵۰–۵۰ به‌ترتیب در تراکم‌های ۲۰ و ۴۰، کاهش عملکرد داشت، در حالی که سایر تیمارها افزایش عملکرد را نشان داد. این شاخص نشان می‌دهد که ارزن معمولی بیشتر تحت تأثیر افزایش تراکم یا به‌عبارتی رقابت درون گونه‌ای قرار گرفته است، در حالی که کینوا بیشتر متأثر از عامل نسبت‌های کاشت و رقابت بین گونه‌ای بوده است. نتایج حاصل از بررسی جمع مقدار عددی این شاخص نیز حاکی از مثبت بودن علامت برای ۵۰ درصد تیمارها در نسبت‌ها و تراکم‌های مختلف کشت است که نشان از افزایش عملکرد در کشت مخلوط می‌باشد. بیشترین مقدار AYL کل با ۲۶/۹۸ درصد افزایش عملکرد (با توجه به عملکرد واقعی و عملکرد مورد انتظار) برابر ۰/۹۱ با علامت مثبت برای نسبت ۲۵ درصد ارزن معمولی و ۷۵ درصد کینوا در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع ثبت گردید. به‌نظر می‌رسد این تیمار با برتری نسبی، بهترین ترکیب در جهت کاهش رقابت برون گونه‌ای باشد. این افزایش احتمالاً در راستای بهره‌برداری حداکثر از منابع به‌ویژه تشعشع حاصل شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت، کشت مخلوط ارزن و کینوا در برخی تیمارها به‌جهت هم‌افزایی، دارای اصل تولید حمایتی با دو اثر تسهیل‌کنندگی و تکمیل‌کنندگی است. در این باره، به افزایش واقعی عملکرد جو در مقابل کاهش عملکرد نخود فرنگی (Banik et al., 2006) و کاهش واقعی عملکرد بادمجان و افزایش واقعی عملکرد ذرت (Dhima et al., 2007) می‌توان اشاره کرد؛ که به‌علت سایه‌اندازی زودهنگام ذرت در اوایل رشد بادمجان رخ داده است.

جدول ۳- شاخص عملکرد واقعی دانه (کاهش یا افزایش) کشت مخلوط ارزن معمولی و کینوا در تراکم و نسبت‌های مختلف کشت
Table 3– Actual grain yield (loss or Gain) of common millet and quinoa intercropping at different densities and ratios

تراکم Density (plants.ha^{-1})	ارزن معمولی Millet			کینوا Quinoa			کل Total		
	75 – 25	50 – 50	25 – 75	75 – 25	50 – 50	25 – 75	75 – 25	50 – 50	25 – 75
200000	0.24	0.59	0.51	-0.25	0.59	0.03	-0.01	0.57	0.54
400000	0.17	0.05	0.73	0.17	-0.27	0.73	0.02	-0.22	0.91
600000	-0.18	0.26	-0.12	0.01	0.26	0.01	-0.17	-0.15	-0.11

نسبت رقابت

نسبت رقابت (CR) نشان‌دهنده غالبیت نسبی یک گونه در مخلوط است. شاخص رقابت نسبی معیار مناسب‌تری برای ارزیابی توانایی رقابتی اجزای کشت مخلوط است و در مقایسه با شاخص غالبیت توانایی بیشتری در ارزیابی رقابت در کشت مخلوط دارد. مقادیر شاخص رقابت کوچک‌تر از یک برای یک جزء در مخلوط بدین معنی است که آن جزء اثرات رقابتی کمتری دارد و به‌عنوان یک گیاه مطلوب برای کشت مخلوط تلقی می‌گردد (Dhima et al., 2007). در واقع، بین دو گیاه در کشت مخلوط نسبت رقابت برابر وجود ندارد، اگر یک گونه دارای رقابت نسبی بالایی باشد، طبیعتاً گونه دیگر از قدرت رقابتی کمتری برخوردار خواهد بود. مطابق جدول ۴، در نسبت‌های کاشت ۷۵- ۲۵ و ۲۵- ۷۵ در تراکم‌های ۲۰ و ۴۰ بوته در مترمربع و همچنین در نسبت ۵۰-۵۰ در هر سه تراکم مقدار شاخص رقابت برای ارزن معمولی بیشتر از یک می‌باشد که توان رقابتی بیشتری نسبت به کینوا داشت و بالعکس، در سایر تیمارها کینوا از نسبت رقابت بالاتری برخوردار بود. بالاترین مقدار این شاخص (۲/۱۶) در نسبت ۵۰ -۵۰ و تراکم ۶۰ بوته در مترمربع برای ارزن ثبت شد، که نشان از بیشترین تأثیر منفی ارزن بر عملکرد کینوا داشت. نتایج حاصل از این شاخص با نتایج به‌دست آمده از شاخص غالبیت هم‌خوانی دارد. در اکثر گزارش‌ها، غلات به‌ویژه انواع چهار کربنه آن دارای توان رقابتی بالاتری نسبت به سایر گیاهان است، لذا از آن در پاره‌ای موارد همانند لگوم‌ها به‌عنوان گیاهان خفه‌کننده و نیز پوششی یاد می‌شود (Ruhlemann & Schmidtke, 2015). در بررسی بانیک و همکاران (Banik et al., 2006) جو رقیب قوی‌تری نسبت به نخود فرنگی بود. همچنین بیشتر بودن اعداد ضریب ازدحام نسبی ذرت از بادمجان، مطابق با شاخص رقابت نسبی، بر رقابت ذرت در کشت مخلوط اشاره دارد (Dhima et al., 2007).

جدول ٤- شاخص نسبت رقابت کشت مخلوط ارزن معمولی و کینوا در تراکم و نسبت‌های مختلف کاشت
Table 4 – Competitive ratio Index of common millet and quinoa intercropping in different densities and planting ratios

تراکم Density (plants.ha^{-1})	ارزن معمولی Millet			کینوا Quinoa		
	75 – 25	50 – 50	25 – 75	75 – 25	50 – 50	25 – 75
200000	1.75	1.60	1.48	0.62	0.63	0.70
400000	1.42	1.45	1.46	0.73	0.70	0.69
600000	0.82	2.16	0.88	1.23	0.47	1.16

شاخص غالبیت بر اساس عمکرد دانه

شاخص غالبیت (AI) نشان‌دهنده افزایش عملکرد نسبی یک گونه در کشت مخلوط در برابر گونه دیگر است. اگر این شاخص مثبت یا منفی باشد، به‌ترتیب گونه اول در مخلوط به‌صورت غالب و مغلوب می‌باشد (Lithourgidis, 2011). در این پژوهش شاخص غالبیت ارزن معمولی نسبت به کینوا محاسبه شده است (جدول ۵). در اکثر تیمارها ارزن گیاه غالب بود. این غالبیت در تمامی نسبت‌های کاشت در تراکم‌های ۲۰ و ۴۰ و نسبت با سهم مساوی در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع مشاهده شد. در حالی که در دو تیمار با تراکم ۶۰ بوته در مترمربع با نسبت‌های ۷۵- ۲۵ و ۲۵- ۷۵، کینوا گیاه غالب و ارزن معمولی مغلوب بود. کینوا در این دو تیمار افزایش عملکرد نسبی چندانی نداشت، امّا عملکرد واقعی آن در حد عملکرد مورد انتظار بود (معادله ۸). در صورتی‌که در این دو تیمار، ارزن معمولی به‌واسطه رقابت درون گونه‌ای کاهش عملکرد نشان داد. ارزن معمولی در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع در نسبت مساوی دو گونه نیز به لحاظ قرارگیری خطوط کشت به‌صورت یک در میان غالبیت داشت. لذا کمتر تحت

تأثیر افزایش تراکم قرار گرفته است؛ هر چند در این نسبت نیز رقابت برون گونه‌ای مشهود بود. نتایج مـرتبط بـا شـاخص غالبیـت، نتـایج حاصل از تغییرات شاخص نسبت برابری زمین (شـکل ۵) و عملکـرد نسبی (شکل ۶) را تأیید می‌کند. در این رابطه به مثبت بودن شاخص غالبیت جو در کشت مخلوط بـا نخـود فرنگـی و نیـز غالبیـت ارزن معمـولی نسـبت بـه بقـولات اشـاره شـده (Banik et al., 2006; Ahmadvand & Hajinia, 2016) کـه دلیـل آن قابلیـت رقـابتی بیشتر جو و ارزن برای تسخیر منابع در کشت مخلـوط عنـوان شـده است. به عبارتی، غلات شاخص غالبیت بالاتری از خـود نسـبت بـه حبوبات در کشت مخلوط نشان می‌دهند (Lithourgidis, 2011).

جدول ۵- شاخص غالبیت ارزن نسبت به کینوا درکشت مخلوط در تراکم و نسبت‌های مختلف کاشت

Table 5- Aggressivity index of common millet to quinoa intercropping in different densities and planting ratios

تراکم Density (plants.ha^{-1})	شاخص غالبیت (ارزن معمولی - کینوا) Aggressivity index (Millet - Quinoa)		
	75 M – 25 Q	50 M – 50 Q	25 M – 75 Q
200000	0.49	0.60	0.48
400000	0.33	0.33	0.54
600000	-0.19	0.66	-0.13

نتیجه‌گیری

با توجه به اهداف کشت مخلوط در استفاده حداکثری از منـابع و عوامل محیطی، ارزن معمولی و گیاه جدید کینوا به‌لحاظ تفاوت‌هـای مورفولوژیک و فیزیولوژیکی که با هم دارند مکمل یکدیگر در کشـت مخلوط محسوب می‌شوند. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نیز مؤید سودمندی کشت مخلوط این دو گیـاه در منطقـه اسـت. بـا بررسـی عملکرد دانه و بیولوژیک، تراکم مطلوب برای تک‌کشتی کینوا و ارزن معمولی به‌ترتیب ۴۰ و ۶۰ بوتـه در مترمربـع بـرای حصـول حـداکثر عملکرد دانه مشخص شد. علت این تفـاوت را مـی‌تـوان در اسـتفاده حداکثری از منابع و فضا در راستای مورفولوژی (نـوع بـرگ و زاویـه قرارگیری آن) و فیزیولـوژی گیاهـان (تفـاوت در مسـیر فتوسـنتزی) عنوان کرد. در کشت مخلوط نیز به لحاظ وجود رقابت‌هـای درون و برون گونه‌ای نسبت به تک‌کشتی، بیشترین عملکرد در تراکم کمتـر یعنی ۴۰ بوته در مترمربع حاصل گردید. شاخص نسبت برابری زمین یا به‌عبارتی مجموع نسبت عملکرد کشت مخلوط به عملکرد خالص، در نیمی از تیمارها بالاتر از یک بود. به‌طوری‌که، بیشترین میـزان در نسبت ۲۵ درصد ارزن معمولی و ۷۵ درصد کینوا در تراکم بهینـه ۴۰ بوته در مترمربع (تیمار برتر) مساوی ۱/۳۲ به‌دسـت آمـد. از طرفـی، تعیین رابطه رقابتی و غالبیت بین دو گیاه در کشت مخلوط می‌توانـد در افزایش نسبی عملکرد هر جزء و سپس نسبت برابری زمین مـؤثر واقع شود. به نحوی که، با مد نظر قرار دادن توان رقابتی بالاتر بعضی از گیاهان، از دیگر عواملی که مـی‌توانـد در تعیـین موفقیـت کشـت مخلوط نقش داشته باشد؛ تاریخ کاشـت مناسـب و نیـز تـأمین نیـاز حرارتی است. با توجه به این مهم مـی‌تـوان درجـه غالبیـت و تـوان رقابتی یک گیاه را مشخص نمود. به عبارت دیگر، با تغییر هم‌زمـان تاریخ کاشت و یا کشت مخلوط تأخیری[۶] می‌توان میزان شاخص‌های رقابتی اجزاء کشت مخلوط را جهت افزایش نسبت برابری زمین تغییر داد؛ که می‌تواند در پژوهش‌های آتی همراه با تغییر تراکم مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش با انجام کشت تابستانه، ارزن معمولی توان رقابتی بالاتری نسبت به کینوا از خود نشان داد. به‌طور کلـی، نتـایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های کشت مخلوط بر اساس اصول مساعدت و رقابت مکمل و تأییدکننـده یکـدیگر بودند؛کـه صـحت و درسـتی اطلاعات به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

1- Relay cropping

References

Ahmadvand, G., and Hajinia, S., 2016. Ecological aspects study of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Agroecology 7(4): 485-498. (In Persian with English Summary)

Akintoye, H.A., Lucas, E.O., and King, J.G., 1997. Effects of density of planting and time of nitrogen application on maize varieties in different ecological zones of West Africa. Communications in Science and Plant Analysis 28: 1163-1175.

Atri, A., and Zand, A., 2004. Studying competition ability six cultivar canola (*Brassica napus* L.) with *Avena fatua*. Journal of Plant Pests and Diseases 72(2): 95-112. (In Persian with English Summary)

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S., 2006. Barley and pea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-332.

Chapagain, T., and Riseman, A., 2014. Barley–pea intercropping: Effects on land productivity, karbon and nitrogen transformations. Field Crops Research 166: 18-25.

Crabtree, R.J., Prater, J.D., and Mbolda, P., 2000. Long-term wheat soybean and grain sorghum double-cropping under rainfed conditions. Agronomy Journal 82: 683-686.

Darbaghshahi, M.N., Banitaba, A., and Bahari, B., 2012. Evaluating the possibility of saffron and chamomile mixed culture. African Journal of Agricultural Research 7(20): 3060-3065.

Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Doras, C.A., 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crops Research 100: 249-256.

Food and Agriculture Organization (FAO), 2011. Quinoa; an ancient crop to contribute to world food security. 63 p.

FAO, and ICRISAT, 1996. The world sorghum and millet economies, facts, trends and outlook. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Via delle Teme di Caracalla, Rome, and International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Andhra Pradesh, India. 68 p.

Ghorbani, R., Tabrizi, L., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2010. Field and Laboratory Investigations in Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. 372 p. (In Persian)

Gonzalez, S.E., and Christiansen, J., 2016. Some agronomic strategies for organic quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Agronomy and Crop Science 202(6): 454-463.

Hassanzadeh Aval, F., Koocheki, A., Khazaie, H.R., and Nassiri Mahallati, M., 2010. Effect of plant density on growth characteristics and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.) and Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) Intercropping. Field Crops Research 8: 920-929. (In Persian with English Summary)

Jacobsen, S.E., Liu, F., and Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Science Hortical 122: 281-287.

Jamali, S., Sharifan, H., Hezarjaribi, A., and Sepahvand, N.A., 2016. The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of two cultivars of quinoa. Journal of Soil and Water Conservation 6: 98-110. (In Persian)

Kamkar, B., and Mahdavi Damghani, A., 2008. Principles of Sustainable Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. 315 p. (In Persian)

Khamari, M., 2017. Evaluation of grain sorghum and common millet intercropping in Birjand region. M.Sc. Thesis of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A.R., and Khajeh Hosseini, M., 2008. Modern Agronomy. Jihad-e Danneshgahi of Mashhad Press, Iran. 704 p. (In Persian)

Lilian, E.A.J., 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) composition, chemistry, nutritional and functional properties. Advances in Food and Nutrition Research 58: 10-31.

Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., and Damalas, C.A., 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. European Journal of Agronomy 34: 287-294.

Maffei, M., and Mucciarelli, A., 2003. Essential oil yield in peppermint / soybean strip intercropping. Field Crops Research 84: 229-240.

Mahmoodi, G., Ghanbari, A., and Hossein Panahi, F., 2014. Investigation of multiple competitions of weeds at different corn (*Zea mays* L.) densities. Iranian Journal of Crops Research 12(1): 118-126. (In Persian with English Summary)

Mostafaee, M., 2018. Determining the optimum plant density of *Chenopodium quinoa* Willd. Under different irrigation levels. M.Sc. Thesis of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran. (In Persian with English Summary)

Mushagalusa, G.N., Ledent, J.F., and Draye, X., 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. Environmental and Experimental Botany 64: 180-188.

Raei, Y., Bolandnazar, S.A., and Dameghsi, N., 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 21(2): 131-142. (In Persian with English Summary)

Ren, Y., Liuc, J., Wangd, Z., and Zhanga, S., 2016. Planting density and sowing proportions of maize-soybean intercrop affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. European Journal of Agronomy 72: 70-79.

Ruhlemann, L., and Schmidtke, K., 2015. Evaluation of mono-cropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. European Journal of Agronomy 65: 83-94.

Safari, F., 2007. Effect of planting date and plant density on yield of millet. M.Sc. dissertation, Faculty of Agriculture, University of Gorgan, Iran. (In Persian with English Summary)

Samadzadeh, A.R., Fallahi, H.R., Zamani, G.R., 2019. Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. In Press, Applied Field Crops Research (In Persian with English Summary)

Sepahvand, N.A., Tavazoa, M., and Kahbazi, M., 2011. Adaptation and evaluation of quinoa, a valuable new crop in Iran. In: Proceedings of 2nd International Symposium on Underutilized Plant Species. Kuala Lumpur, Malaysia.

Shahbazian, N., Allah-Moradi, E., and Kamkar, B., 2007. Introduction of Amaranth and Quinoa for stabilization of marginal lands in Iran. First National Conference on Ecology of Iran. 23 p. (In Persian)

Torabi, M., 2016. Millet suitable for planting under drought and dehydration. Isfahan Agricultural Jihad Organization. 32 p. (In Persian)

Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E., 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono / intercropping system with different row orientation. Field Crops Research 71:17-29.

Zand, S., Rahimian Mashhadi, H., Koocheki, A., Khalghani, J., Mosavi, S.K., and Rmazani, K., 2010. Weed Ecology: Implications for Management. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. 558 p. (In Persian)

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.3, Fall 2021, p. 471-488

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۴۸۸-۴۷۱

Evaluation the Yield and Intercropping Indices of Millet (*Panicum miliaceaum* L.) and Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Effect of Plant Density and Cultivation Ratios in Birjand Region

H. Vahidi[1], S. Mahmoodi[2*], S. Parsa[3] and H. Fallahi[3]

Submitted: 06-10-2019
Accepted: 12-07-2020

Vahidi, H., Mahmoodi, S., Parsa, S., and Fallahi, H., 2021. Evaluation the yield and intercropping indices of millet (*Panicum miliaceaum* L.) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under effect of plant density and cultivation ratios in Birjand region. Journal of Agroecology 13(3):471-488.

Introduction

Intercropping is one of the main strategies to obtain more stability in agro-ecosystems. The possibility of yield improvement in intercropping systems depends on various factors such as plant combination, cultivar type, plant density, planting pattern, and contribution of each species. Introducing new crops or forgotten plants to agro-ecosystems are other methods for sustainable crop production. Quinoa as a potential new crop to be introduced to Iran's farming systems, is well-adapted to different environmental conditions. This plant has high nutritional values and produces acceptable yield to areas affected by environmental stresses like drought and salinity stresses. Millet, as a forgotten crop in Iran's agro-ecosystems, is a drought-tolerant grain, with appropriate growth and yield in arid and semi-arid regions. This C_4 plant has vertical leaf distribution, rapid and short growth period which make it tolerant to adverse environmental conditions compared to other cereals. The aim of this study was to evaluate the possibility of quinoa and millet intercropping under arid and semi-arid climate of Birjand, Iran.

Materials and Methods

A factorial experiment based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications was conducted in research field of University of Birjand, Iran, in 2018. The experimental factors were planting density at three levels (20, 40, and 60 plants m^{-2} for both quinoa and millet) and planting ratio at five levels (pure stand of millet (100 %), three rows of millet and one row of quinoa (75%-25%), the equal ratio of millet and quinoa (50%-50%), one row of millet and three rows of quinoa (25%-75%) and monoculture of quinoa (100%). Experimental plots area was 24 m^2 (6 m×4 m), with eight planting rows per each. The distances between planting rows in all treatments were 50 cm, while the distances along the single rows were 10, 5, and 3.3 cm for 20, 40, and 60 planting densities, respectively. The grain and biological yields of both plants were determined, finally, various indices including land equivalent ratio (LER), relative yield (RY), competitive ratio index and aggressively index were calculated. Data analyses were done using SAS 9.2 and means were compared by FLSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The simple and interaction effects of planting density and ratio had a significant effect on grain and biological yield of quinoa and grain yield of millet ($p < 0.01$). In addition, planting ratio had a significant effect on the biological yield of millet ($p < 0.01$). Based on data obtained from monoculture system, the optimum plant density to obtain the

1- Ph.D. Student in Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
3- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: smahmoodi@birjand.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v13i3.83543

highest grain yield of millet (4100 $kg.ha^{-1}$) and quinoa (2340 $kg.ha^{-1}$), were 60 and 40 plants per m^2, respectively. Considering the different ratios of planting, the participation and positive effect of both millet and quinoa plants in an increasing the land equality ratio has been equal. By increasing the density, the advantage of mixed cultivation has been reduced. The best intercropping systems in terms of LER (1.32) were the density of 40 plants per m^2 (for both crops), and planting ratio of 25% millet and 75% quinoa, which had 26.98% actual grain yield incensement. In addition, the results of interaction effect showed that this treatment increased the biological yield of quinoa (6935 kg ha^{-1}) by 9.26%, based on anticipated yield. In this density, it seems that the result of optimal use of existing inputs and reduction of internal and external competition in order to achieve maximum yield has been achieved. The results of the relative yield indicated that the millet is better utilized from environmental resources and conditions due to its predominance and competitiveness. In general, the results of evaluating mixed culture indicators based on the principles of assistance and competition were complementary and confirming each other.

Conclusions

The results showed that millet and quinoa had significant effects on each other when intercropped at different planting densities and ratios due to difference of morphological and physiological characteristics. So according to the goals of intercropping recommended the intercropping systems of millet and quinoa for Birjand region.

Keywords: Competitive ratio index, Land equivalent ratio, New crop, Replacement series technique